

Chapitre 5 : Théorèmes généraux

Ces théorèmes permettent de résoudre un grand nombre des problèmes de la mécanique.

I - Théorème de moment cinétique :

Rappel :

$$+ \vec{\sigma}_O(M) = \vec{OM} \wedge m \vec{V}_{R_g}(M)$$

$$+ \vec{M}_O(\vec{F}) = \vec{OM} \wedge \vec{F}$$

(M est le pt d'application de \vec{F})

I-1. Enoncé du théorème :

Soit $M(m)$ en mvt par rapport à un référentiel galiléen R_g et soit O un pt fixe dans R_g . Par définition ; on a :

$$\left(\frac{d\vec{\sigma}_O(M)}{dt} \right)_{R_g} = \sum \vec{M}_O(\vec{F}_{ext})$$

Enoncé : la dérivée par rapport au temps du moment cinétique du pt M par rapport au pt fixe O est égale à la somme des moments des forces appliquées en ce même pt.

En effet :

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\vec{\sigma}_O(M)}{dt} \right)_{R_g} &= \frac{d}{dt} (\vec{OM} \wedge m \vec{V}_{R_g}(M)) \\ &= \left(\frac{d\vec{OM}}{dt} \right)_{R_g} \wedge m \vec{V}_{R_g}(M) + \vec{OM} \wedge m \vec{V}_{R_g}(M) \\ &= \vec{OM} \wedge \sum \vec{F}_{ext} \\ &= \vec{OM} \wedge (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots) \\ &= \vec{OM} \wedge \vec{F}_1 + \vec{OM} \wedge \vec{F}_2 + \dots \\ &= \sum_i \vec{M}_O(\vec{F}_i) = \vec{M}(\vec{F}) \end{aligned}$$

Remarque

+ les théorèmes restent valables quelque soit le pt fixe dans R_g .

+ si le pt matériel est isolé ($\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$)
ou si $\mathcal{L}(\vec{F}) = \vec{0} \Rightarrow \vec{S}_O(M)$ est un vecteur constant

+ De préférence, on calcule le moment cinétique Y. un pt fixe O . Cependant si on considère un pt A mobile dans R_g . On peut écrire :

$$\begin{aligned} \left. \frac{d\vec{S}_A(M)}{dt} \right|_{R_g} &= \frac{d}{dt} (\vec{AM} \wedge m \vec{V}_{R_g}(M)) \\ &= \left. \frac{d\vec{AM}}{dt} \right|_{R_g} \wedge m \vec{V}_{R_g}(M) + \vec{AM} \wedge m \vec{\gamma}_{R_g}(M) \end{aligned}$$

$$\left. \frac{d\vec{AM}}{dt} \right|_{R_g} = \frac{d}{dt} (\vec{AO} + \vec{OM}) \Big|_{R_g}$$

$$\left. \frac{d\vec{S}_A(M)}{dt} \right|_{R_g} = -\vec{V}_{R_g}(A) \wedge m \vec{V}_{R_g}(M) + \vec{AM} \wedge m \vec{\gamma}_{R_g}(M)$$

$$\left. \frac{d\vec{S}_A(M)}{dt} \right|_{R_g} + \vec{AM} \wedge \sum \vec{F}_{ext} = -\vec{V}_{R_g}(A) \wedge \vec{p}(M) + \sum_i \vec{r}_A(\vec{F}_i)$$

si A est fixe dans $R_g \Rightarrow \vec{V}_{R_g}(A) = \vec{0}$

$$\frac{d\vec{S}_A(M)}{dt} = \sum_i \vec{r}_A(\vec{F}_i)$$

+ si M est en mvt dans un réf. non galiléenne R' .

soit O' un pt fixe dans R' .

$$\left. \frac{d\vec{S}_{O'}(M)}{dt} \right|_{R'} = \frac{d}{dt} (\vec{O'M} \wedge m \vec{V}_{R'}(M))$$

$$= \left. \frac{d\vec{O'M}}{dt} \right|_{R'} \wedge m \vec{V}_{R'}(M) + \vec{O'M} \wedge m \vec{\gamma}_{R'}(M)$$

$$\left. \frac{d\vec{\sigma}_O(t)}{dt} \right)_R = \vec{\sigma}_O \wedge (\sum \vec{F}_{ext} + \vec{F}_{fe} + \vec{F}_{fc})$$

$$= \sum \mathcal{M}(\vec{F}_i) + \mathcal{M}_{O'}(\vec{F}_{fc}) + \mathcal{M}_O(\vec{F}_{fc})$$

I-2 Exemple d'utilisation du th. de moment cinétique :

+ Etude d'un pendule simple :



+ système à étudier : pt M

+ Bilan des forces : \vec{P} , \vec{T}

+ Repère utilisé :

$R(O, x, y, z)$

le mvt s'effectue dans le plan vertical

Oxy.

+ Th. de moment cinétique :

$$\frac{d\vec{\sigma}_O(t)}{dt} = \sum \mathcal{M}_O(\vec{F}_i)$$

$$= \mathcal{M}_O(\vec{T}) + \mathcal{M}_O(\vec{P})$$

$$\mathcal{M}_O(\vec{T}) = \vec{OM} \wedge \vec{T} = \vec{0} \quad (\vec{T} \text{ et } \vec{OM} \text{ st colin.})$$

$$\mathcal{M}_O(\vec{P}) = \vec{OM} \wedge \vec{P}$$

$$= (l \vec{e}_r) \wedge (mg \vec{e}_x)$$

$$= mg l \vec{e}_r \wedge \vec{e}_x$$

$$= m \cdot g \cdot l (\cos\theta \vec{e}_x + \sin\theta \vec{e}_y) \wedge \vec{e}_x$$

$$\mathcal{M}_O(\vec{P}) = -m \cdot g \cdot l \sin\theta \vec{e}_z$$

D'autre part :

$$\vec{\sigma}_O(t) = \vec{OM} \wedge m \vec{V}_R(t)$$

$$\vec{V}_R(t) = \left. \frac{d\vec{OM}}{dt} \right)_R = \frac{d}{dt} (l \cdot \vec{e}_r)$$

$$= l \dot{\theta} \vec{e}_\theta$$

$$\Rightarrow \vec{\sigma}_O(t) = l \vec{e}_r \wedge m (l \dot{\theta} \vec{e}_\theta)$$

$$= m l^2 \dot{\theta} \vec{e}_z$$

$$\Rightarrow \frac{d\vec{\sigma}_O(t)}{dt} = m l^2 \ddot{\theta} \vec{e}_z$$

$$Th \Rightarrow m l^2 \ddot{\theta} \vec{e}_\theta = -mg l \sin \theta \vec{e}_\theta$$

$$\Rightarrow \ddot{\theta} = -\frac{g}{l} \sin \theta$$

$$\Rightarrow \ddot{\theta} + \omega^2 \sin \theta = 0$$

$$\text{avec : } \omega^2 = \frac{g}{l}$$

Pour des petites oscillations : $\sin \theta \approx \theta$
(θ faible).

L'équation devient : $\ddot{\theta} + \omega^2 \theta = 0$

La solution est une fonction sinusoïdale
de pulsation $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$.

Ce qui donne T la période des oscillations :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Ce résultat est utilisé pour trouver la
valeur de la pesanteur g .

II - Th. de l'énergie cinétique :

II.1 Travail - Puissance :

soit un pt matériel $M(m)$, en mvt
dans un réf. donné R , qui subit une
force \vec{F} .

Le travail élémentaire de la force \vec{F} produit
un intervalle de temps dt est $dW = \vec{F} \cdot d\vec{OM}$ où
 $d\vec{OM}$ est le dép. élém. effectué par la particule M
ou aussi : $dW = \vec{F} \cdot \vec{V} \cdot dt$

\Rightarrow le travail de \vec{F} sur un trajet fini M_1, M_2

$$W = \int_{M_1, M_2} \vec{F} \cdot d\vec{OM} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} \cdot \vec{V} \cdot dt$$

t_1 : l'instant où M est en M_1 .

t_2 : l'instant où M est en M_2 .

On définit, la puissance de \vec{F} par :

$$P(\vec{F}) = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{V}_R(M)$$

$$\Rightarrow W = \int_{t_1}^{t_2} P(\vec{F}) dt$$

unités : w (joule $\equiv J$)
 P (watts $\equiv W$)

Remarque :

+ w et P dépendent du référentiel dans lequel le mvt est effectué (car ils dépendent de $\vec{O}\vec{M}$ et \vec{v}).

+ si la force \vec{F} appliqué au pt M est une force constante alors :

$$W = \int_{M_1}^{M_2} \vec{F} \cdot d\vec{O}\vec{M} = \vec{F} \cdot \vec{M_1 M_2} \quad \left(\int_{M_1}^{M_2} d\vec{O}\vec{M} = \vec{M_1 M_2} \right)$$

3 Cas à distinguer :

+ si \vec{F} est \perp au déplacement :

$W = 0$: \vec{F} ne travaille pas c.à.d. : \vec{F} ne contribue pas au mvt.

+ si \vec{F} et $\vec{M_1 M_2}$ st colinéaires et de sens opposé : $W < 0$: \vec{F} est une force résistante c.à.d. \vec{F} s'oppose au mvt.

+ si \vec{F} et $\vec{M_1 M_2}$ st colinéaires et de même sens $\Rightarrow W > 0$: \vec{F} est une force motrice c.à.d. que \vec{F} contribue au mvt.

Exemple :

+ \vec{F} : force de rappel d'un ressort.



$$\vec{F} = -k \cdot \Delta l \vec{e}_x \quad (\Delta l = l - l_0)$$

$$= -k x \vec{e}_x$$

$$d\vec{O}\vec{M} = dx \vec{e}_x$$

$$\Rightarrow dw = -k x dx$$

$$W_{1 \rightarrow 2}(M) = -k \int_{x_1}^{x_2} x dx = k \left(\frac{x_1^2}{2} - \frac{x_2^2}{2} \right)$$

II.2 Changement de référentiel :

+ soit un pt M, en movt par rapport à un réf. R' mobile par rapport à R (fixe).

+ L.C.V : $\vec{V}_R(M) = \vec{V}_{R'}(M) + \vec{V}_e$

$$\vec{F} \cdot \vec{V}_R(M) = \vec{F} \cdot \vec{V}_{R'}(M) + \vec{F} \cdot \vec{V}_e$$

Puissance

Puissance

Puissance

absolue

relative

d'entraînement

$$\Rightarrow \int_{t_1}^{t_2} P_a(\vec{F}) \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} P_r(\vec{F}) \cdot dt + \int_{t_1}^{t_2} P_e(\vec{F}) \cdot dt$$

$$W_a(\vec{F}) = W_r(\vec{F}) + W_e(\vec{F})$$

On dit que le travail et la puissance st additifs.

Contrairement à l'énergie cinétique qui n'est pas additive.

En effet : $E_{ca} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (\vec{V}_R(M))^2$

$$\Rightarrow E_{ca} = \frac{1}{2} m (\vec{V}_{R'}(M) + \vec{V}_e)^2$$

$$E_{ca} = \underbrace{\frac{1}{2} m \cdot V_r^2}_{E_{cr}} + \underbrace{\frac{1}{2} m V_e^2}_{E_{ce}} + m \vec{V}_r \cdot \vec{V}_e \quad \text{terme supplémentaire}$$

II.3 - Enoncé du théorème :

+ soit un pt M(m), en movt dans un réf. galiléen R_g et \vec{F} la résultante des forces appliquées à M.

P.F.D/ R_g : $\vec{F} = m \cdot \frac{d\vec{V}_{R_g}(M)}{dt}$

$$\Rightarrow \vec{F} \cdot \vec{V}_{R_g}(M) = m \cdot \frac{d\vec{V}_{R_g}(M)}{dt} \cdot \vec{V}_{R_g}(M)$$

$$= m \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{dV^2}{dt}$$

Th. de l'énergie - Puissance : $P(\vec{F}) = \frac{dE_c}{dt}$

$$\Rightarrow P(\vec{F}) dt = dE_c$$

$$dW = dE_c$$

sur un trajet fini $M_1 M_2$.

$$\int_{M_1}^{M_2} dW = \int_{M_1}^{M_2} dE_c = \int_{M_1}^{M_2} dE_c$$

$$W_{1 \rightarrow 2}(\vec{F}) = E_c(M_2) - E_c(M_1)$$

C'est le th. de l' E_c

Enoncé : La variation de l'énergie cinétique d'un pt mat. M entre les positions M_1 et M_2 est égale au travail des forces s'exercent sur M .

+ si maintenant, le pt M en mvt de un réf. R' non galiléen :

$$P.F.D / R' : m \vec{\gamma}_{R'}(M) = \vec{F} + \vec{f}_{tr} + \vec{f}_{ic}$$

$$m \cdot \frac{d\vec{V}_r}{dt} \cdot \vec{V}_r = \vec{F} \cdot \vec{V}_r + \vec{f}_{tr} \cdot \vec{V}_r + \vec{f}_{ic} \cdot \vec{V}_r$$

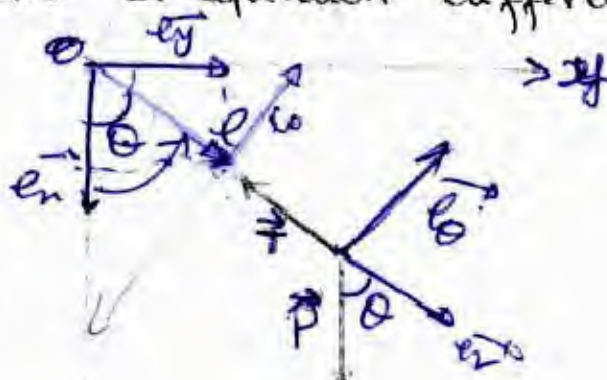
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m \cdot V_r^2 \right) = P_r(\vec{F}) + P(\vec{F}_{ic})$$

$$\frac{d}{dt} (E_{cr}) = P_r(\vec{F}) + P(\vec{F}_{ic})$$

$$\Rightarrow \int_{M_1}^{M_2} dE_{cr} = \int_{t_1}^{t_2} P_r(\vec{F}) \cdot dt + \int_{t_1}^{t_2} P(\vec{F}_{ic}) \cdot dt$$

$$E_{cr}(M_2) - E_{cr}(M_1) = W_{1 \rightarrow 2}(\vec{F}) + W_{1 \rightarrow 2}(\vec{F}_{ic})$$

+ Reprendre l'exemple du pendule.
Cherchons l'équation différentielle



$\frac{d^2\theta}{dt^2}$

$$\frac{dE_c}{dt} = \frac{\delta W}{dt} (\vec{F}_{\text{ext}})$$

$$+ dE_c = ?$$

$$\delta W(\vec{T}) = ?$$

$$\delta W(\vec{P}) = ?$$

$$+ E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

$$\vec{v} = l \dot{\theta} \vec{e}_\theta \Rightarrow v = l \dot{\theta}$$

$$E_c = \frac{1}{2} m l^2 (\dot{\theta})^2$$

$$\frac{dE_c}{dt} = m \cdot l^2 \ddot{\theta} \dot{\theta}$$

$$\frac{\delta W}{dt}(\vec{T}) = \vec{T} \cdot d\vec{r}$$

$$d\vec{r} = l \cdot \vec{e}_r$$

$$d\vec{r} = l d\theta \vec{e}_\theta$$

$$\Rightarrow \delta W(\vec{T}) = -T \vec{e}_r \cdot (l d\theta) \vec{e}_\theta = 0$$

$$+ \delta W(\vec{P}) = \vec{P} \cdot d\vec{r}$$

$$= m g \vec{e}_x \cdot l d\theta \vec{e}_\theta$$

$$= m g l d\theta \vec{e}_x \cdot (-\sin\theta \vec{e}_x + \cos\theta \vec{e}_y)$$

$$= -m g l \sin\theta d\theta$$

$$\frac{\delta W}{\delta t}(\vec{P}) = -m g l \sin\theta \frac{d\theta}{dt}$$

$$= -m g l \sin\theta \cdot \dot{\theta}$$

$$\Rightarrow m l^2 \ddot{\theta} \dot{\theta} = -m g l \sin\theta \cdot \dot{\theta}$$

$$l \cdot \ddot{\theta} = -g \sin\theta$$

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l} \sin\theta = 0$$

Retrouver cette équation en utilisant P.F.D.

III - Energie potentielle :

III - 1 Forces conservatives :

Une force est dite conservative si son travail ne dépend pas du chemin suivi par son pt d'application.

$$W = \int_{C_1} \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_{C_2} \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

W ne dépend que de l'état initial et de l'état final.

* si le travail d'une force \vec{F} dépend du trajet suivi.

\Rightarrow On dit qu'elle est non conservative.

Exemples :

forces conservatives

- \vec{P} : Poids
- Force électrostatique
 $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$

forces non conservatives : force de frottement

III - 2. Energie potentielle :

le travail d'une force conservative ne dépend que de l'état initial et l'état final d'un pt M . elle peut s'exprimer à partir d'une fonction d'état appelée énergie potentielle en écrivant :

$$E_p(M_2) - E_p(M_1) = -W_{1 \rightarrow 2}$$

à partir de laquelle, on va déduire :

$$\begin{aligned} \Rightarrow \Delta E_p &= -W_{1 \rightarrow 2}(\vec{F}) \\ dE_p &= -dW_{1 \rightarrow 2}(\vec{F}) \\ &= -\vec{F} \cdot d\vec{OM} \quad (1) \end{aligned}$$

Or pour une fonction scalaire : f , on a :

$$df = \vec{\text{grad}} f \cdot d\vec{OM}$$

$$\Rightarrow dE_p = \vec{\text{grad}} E_p \cdot d\vec{OM} \quad (2)$$

de (1) et (2) : $\vec{F} = -\vec{\text{grad}} E_p$

On dit qu'une pt conservative dérive d'une Energie potentielle.

Exemples de calcul

1) * Energie potentiel du pesanteur : E_{pp}

$$\begin{aligned} dE_{pp} &= -dW(\vec{P}) \\ &= -\vec{P} \cdot d\vec{OH} \\ &= +m \cdot g \vec{k} (dx \vec{i} + dy \vec{j} + dz \vec{k}) \\ &= m \cdot g dz \end{aligned}$$

$$E_{pp} = mgz + \text{cte} \quad \text{à une cste près}$$

Dans ce cas, par convention, on prend :

$$E_p(z=0) = 0 \quad (\text{Au sol}).$$

$$\Rightarrow E_{pp} = mgz$$

* L'énergie potentiel de pesanteur E_{pp} augmente avec l'altitude alors elle dépend de la position de M par rapport au sol.

Cette énergie est due à l'interaction du solide avec la terre.

2) - Energie potentiel électrostatique :

* Force électrostatique : appliquée d'une charge q :

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} = -q \text{ grad } V$$

où V est le potentiel électrostatique.

$$\vec{F} = -\text{grad}(qV)$$

\Rightarrow la quantité (qV) représente alors l'énergie potentiel électrostatique :

$$\Sigma_p = qV$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_e) &= -\Delta \Sigma_p \\ &= -(\Sigma_{pB} - \Sigma_{pA}) \end{aligned}$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}_e) = q(V_A - V_B)$$

3) - Travail d'une force de rappel d'un ressort :

$$\begin{aligned} dE_p &= -dW(\vec{F}_r) \\ &= -(-kx \vec{i}) \cdot dx \vec{i} \\ &= kx dx \end{aligned}$$

$$\Rightarrow E_p = \frac{1}{2} k x^2 + \text{cte}$$

et on prend $E_p(x=0) = 0$

$$\Rightarrow E_p = \frac{1}{2} k x^2$$

Remarque :

+ si un pt matériel M est soumis à plusieurs forces conservatives : $\vec{F}_{ic} = -\text{grad } E_p$
 l'énergie potentielle totale de la particule est alors : $E_p(M) = E_{p_1}(M) + E_{p_2}(M) + \dots$

IV - Energie mécanique :

+ C'est la somme de l'énergie cinétique et l'énergie potentielle d'un pt M dans un référentiel donné R.

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

$$E_p = E_{p_1} + E_{p_2} + \dots$$

IV-1 Conservation de l'énergie mécanique

D'après le T.E.C, on a :

$$\Delta E_c = \sum_{1 \rightarrow 2} W(\vec{F}_{\text{ext}})$$

$$= \sum_{1 \rightarrow 2} W(\vec{F}_{\text{ext}}^c) + \sum_{1 \rightarrow 2} W(\vec{F}_{\text{ext}}^{\text{nc}})$$

$$\Delta E_c = -\Delta E_p + \sum_{1 \rightarrow 2} W(\vec{F}_{\text{ext}}^{\text{nc}})$$

$$E_{c_2} - E_{c_1} = -(E_{p_2} - E_{p_1}) + \sum_{1 \rightarrow 2} W(\vec{F}_{\text{ext}}^{\text{nc}})$$

$$(E_{c_2} + E_{p_2})_{E_{m_2}} - (E_{p_1} + E_{c_1})_{E_{m_1}} = \sum_{1 \rightarrow 2} W(\vec{F}_{\text{ext}}^{\text{nc}})$$

$$\Delta E_m = \sum_{1 \rightarrow 2} W(\vec{F}_{\text{ext}}^{\text{nc}})$$

la variation de l'énergie mécanique est égale au travail de la résultante des forces non conservatives appliquées à M.

* si le pt M est soumis uniquement à des forces conservatives :

$$\Rightarrow \Delta E_m = 0 \quad (E_{m_2} = E_{m_1})$$

$E_m = \text{cte}$: on dit que l'énergie mécanique est une cste de mot

On dit aussi que E_m se conserve au cours du mvt.

une fonction conservative possède

3 propriétés :

- $W(\vec{F})$ ne dépend pas du trajet
- \vec{F} dérive d'une E_p
- $E_m(M)$ est constant.

Une masse m mobile sans frottement sur un axe horizontal (Ox) est ramenée par une force \vec{F} vers le pt O . $\vec{F} = -kx\vec{i}$

* forces extérieures : \vec{P} , \vec{R} , \vec{F}

\vec{P} et $\vec{R} \perp$ au déplacement :

$$\Rightarrow W(\vec{P}) = W(\vec{R}) = 0$$

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \dot{x}^2$$

$$E_p = \frac{1}{2} k x^2 \quad (E_p \text{ associée à } \vec{F} = -kx\vec{i})$$

$$E_m = E_c + E_p$$

$$= \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} k x^2$$

le pt est soumis à \vec{F} qui est une force conservative.

$$\Rightarrow E_m(M) = \text{cte}$$

$$\Rightarrow \frac{dE_m}{dt} = 0$$

$$m \dot{x} \cdot \ddot{x} + kx\dot{x} = 0$$

$$\ddot{x} + \frac{k}{m} x = 0 \quad \text{Equation différentielle du mvt}$$

V - Equilibre d'un pt M soumis à une force conservative

V.1 positions d'équilibre :

Pour simplifier on supposera que le pt M est soumis à une force conservative \vec{F} et il se déplace sur un axe horizontal (Ox)

$$\vec{F} = F_x(x) \vec{e}_x \quad (\vec{F} // O_x)$$

Le pt M est dans une position d'équilibre

si : $F_x = 0$

\vec{F} est constante $\Rightarrow \vec{F} = -\vec{\text{grad}} E_p$

$$\Rightarrow F_x = -\frac{dE_p}{dx}$$

$$\Rightarrow \left. \frac{dE_p}{dx} \right|_{x_0} = 0$$

les position d'équilibre s'obtiennent alors
En cherchant les extrimums de $E_p(x)$

II.2 stabilité :

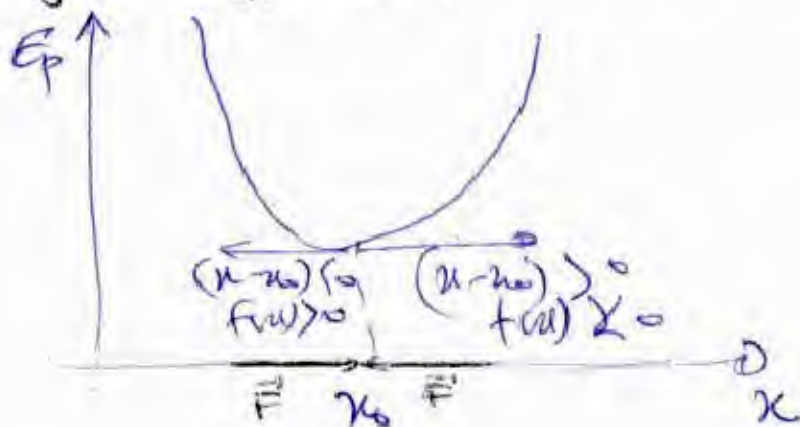
Plaçons au pt x_0 qui est une position d'équilibre et effectuant un petit déplacement $(x - x_0)$ à partir de cette position.

Ecrivons, le D.T de $F(x)$ au pt x_0 au 1^{er} ordre :

$$\begin{aligned} F(x) &= F(x_0) + (x - x_0) \left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x_0} \\ &= - (x - x_0) \cdot \left. \frac{d^2 E_p}{dx^2} \right|_{x_0} \end{aligned}$$

si $\left. \frac{d^2 E_p}{dx^2} \right|_{x_0} > 0 \Rightarrow E_p$ est minimal au pt x_0

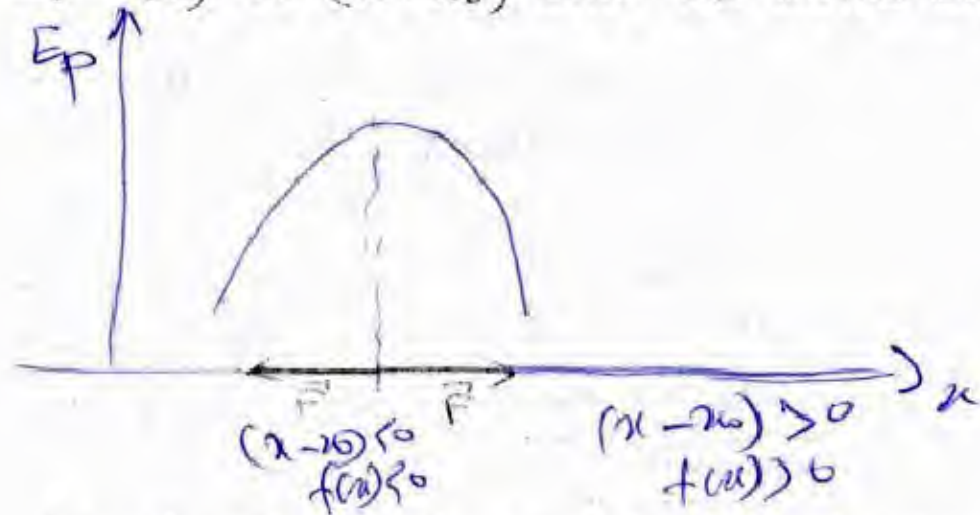
$\Rightarrow F(x)$ et le déplacement $(x - x_0)$ sont de signes opposés.



Dans ce cas Π est ramené vers sa position d'équilibre. On dit que l'équilibre est stable.

+ si $\left. \frac{d^2 E_p}{dx^2} \right|_{x_0} < 0 \Rightarrow E_p$ est maximale au pt x_0 .

$\Rightarrow F(x)$ et $(x - x_0)$ sont de même signe.



le pt Π tend à s'écartier de sa position d'équilibre. l'équilibre est dit instable



ETUSUP.com

Programmmation
Cours
Electricité
Physique
Résumés
Analyse
Livres
Exercices
Contrôles Continus
Langues
Thermodynamique
Multimedia
Divers
Economie
Travaux Dirigés
Chimie Organique
Informatique
Optique
Chimie
Diapo
Algèbre
Corrigés
Mathématiques
Mécanique
Travaux Pratiques
Droit

et encore plus..